



(11)

EP 2 725 194 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
19.02.2020 Patentblatt 2020/08

(51) Int Cl.:
F01D 5/20 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13190022.7**

(22) Anmeldetag: **24.10.2013**

(54) Turbinenrotorschaukel einer Gasturbine

Turbine rotor blade of a gas turbine

Aube de rotor d'une turbine à gaz

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **26.10.2012 GB 201219267**
31.10.2012 DE 102012021400

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.04.2014 Patentblatt 2014/18

(73) Patentinhaber:
• **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)
• **Rolls-Royce plc**
London N1 9FX (GB)

(72) Erfinder:
• **Lehmann, Knut, Dr.**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)
• **Herm, Manuel**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(74) Vertreter: **Hoefer & Partner Patentanwälte mbB**
Pilgersheimer Straße 20
81543 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 898 052 GB-A- 1 491 556

EP 2 725 194 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Turbinenrotorschaukel einer Gasturbine mit einem in radialer Richtung (bezogen auf eine Triebwerksachse der Gasturbine) bzw. in Längsrichtung der Schaukel ausgebildeten Schaukelprofil sowie mit einer Schaukelspitze. Als Schaukelspitze wird im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung das radial außenliegende Ende der Turbinenrotorschaukel bezeichnet.

[0002] Die Erfindung betrifft weiterhin nicht nur Rotorschaukeln, sondern auch Statorschaukeln, wobei die Schaukelspitze bei Statorschaukeln als radial innenliegendes Ende der Schaukel definiert ist.

[0003] Im Stand der Technik ist es bekannt, dass am Radialspalt zwischen den Rotorschaukeln und einem Gehäuse bzw. zwischen Statorschaukeln und einer Nabe ein durch den Druckunterschied von der Schaukeldruckseite zur Schaukelaugeite getriebener Leckagemassenstrom entsteht. Dabei sind Lösungen vorgeschlagen worden, die diesen Leckagemassenstrom verringern und/oder den negativen Einfluss eines sich bildenden Schaukelspitzenwirbels auf die Turbinenaerodynamik verringern.

[0004] Zur Verbesserung der Strömung über die Schaukelspitzen der Rotoren werden hauptsächlich umlaufende Dichtkanten (Squealer), teils aber auch Überhänge an der Schaukelspitze (Wingletausführungen) vorgesehen. Squealerkonstruktionen (US 2010/0098554 A1) bewirken aber nur eine geringe Verbesserung der Aerodynamik. Die Winglet-Konstruktion gemäß US 7,118,329 B2 besitzt einen Überhang zur Druckseite nahe der Schaukelhinterkante und eine umlaufende Dichtkante an der Schaukelspitze mit einer Öffnung an der Schaukelhinterkante. Die Konstruktion gemäß US 6,142,739 besitzt einen saug- und druckseitigen Überhang, welcher sehr klein nahe der Schaukelvorderkante ist und entlang der Schaukel skelettlinie bis zur Schaukelhinterkante immer weiter überhängt. Des Weiteren besitzt diese Konstruktion eine Öffnung der Schaukelspitzenkavität an der Hinterkante.

[0005] Die aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen bringen zum einen nur geringe aerodynamische Vorteile, zum anderen sind die Überhänge (Winglets) so dimensioniert, dass sie insbesondere von der dünnen Schaukelhinterkante schlecht getragen werden können und die mechanische Festigkeit der Schaukel beeinträchtigen.

[0006] Aus der GB 1 491 556 ist eine Laufschaufel für Turbomaschinen vorbekannt, welche einen einseitigen Überstand an der Saugseite der Schaukelspitze aufweist. Der Überstand ist in Form einer Abdeckplatte (partieller Deckband) ausgebildet, welche an der Schaukelspitze befestigt ist und sich, beginnend von der Anströmkannte der Schaukel sofort auf das Mehrfache der Schaukelstärke erstreckt und diesen großen Wert des Überhangs bis zur Schaukelhinterkante beibehält. Derartige Überhänge sind hinsichtlich der auf die Schaukel wirkenden Belas-

tungen kritisch und führen nicht zu optimierten Strömungsverhältnissen.

[0007] Die EP 1 898 052 A2 beschreibt eine Turbinen-schaukel, welche an ihrer Saugseite über einen Teil der Länge einen Überhang aufweist.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Turbinenrotorschaukel der eingangs genannten Art zu schaffen, welche bei einfachem Aufbau und einfacher, kostengünstiger Herstellbarkeit eine aus aerodynamischer und thermaler Sicht optimale Schaukelspitzenumströmung ermöglicht und eine gute Bauteilfestigkeit und eine hohe Lebensdauer aufweist.

[0009] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0010] Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, dass die Schaukelspitze zumindest an ihrer Saugseite, ausgehend von einem Staupunkt an der Schaukelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt der saugseitigen Profilinie der Schaukel mit einem Hinterkantenkreis einen Überhang (Winglet) aufweist. Der Überhang weist am Staupunkt und am Schnittpunkt mit dem Hinterkantenkreis im Wesentlichen einen Wert von Null auf und erreicht seinen Maximalwert bei etwa 40 % der Lauflänge der saugseitigen Profilinie.

Erfindungsgemäß ist somit eine strömungsoptimierte und hinsichtlich der Festigkeit der Schaukel vorteilhafte Konstruktion geschaffen, bei welcher die aerodynamischen Verluste minimiert werden.

[0011] Besonders günstig ist es, wenn die Größe des saugseitigen Überhangs (senkrechter Abstand von der saugseitigen Profilinie) in etwa 45% des Durchmessers des maximal in das Schaukelprofil einbeschreibbaren Kreises T_{max} erreicht.

[0012] In besonders günstiger Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Schaukel ist weiterhin vorgesehen, dass die Schaukelspitze an ihrer Druckseite, ausgehend von einem Staupunkt an der Schaukelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt der druckseitigen Profilinie der Schaukel mit dem Hinterkantenkreis, ebenfalls einen Überhang (Winglet) aufweist, welcher am Staupunkt und am Schnittpunkt im Wesentlichen Null beträgt und welcher einen Maximalwert bei etwa einer Lauflänge zwischen 20 % und 60 % der Gesamtlauflänge der druckseitigen Profilinie aufweist.

[0013] Zur Verbesserung der Strömung und zur weiteren Verminderung des Leckagemassenstroms kann es weiterhin günstig sein, dass am radial äußeren Randbereich der Schaukel (bei einer Rotorschaukel) bzw. am radial inneren Randbereich bei einer Statorschaukel eine umlaufende Dichtkante ausgebildet ist. Diese kann beispielsweise einen im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt haben, so dass sich im mittleren Bereich der Schaukelspitze eine Vertiefung/Kavität ausbildet.

[0014] Die Dichtkante kann weiterhin bevorzugterweise einen Bereich mit einer reduzierten Höhe bzw. einen Bereich mit einer Höhe von Null aufweisen, welcher im

Bereich des saugseitigen Überhangs zwischen einer Lauflänge der saugseitigen Profillinie von 10 % bis 30 % vorgesehen ist. Somit wird eine Öffnung ausgebildet, durch welche eine Zuströmung der gehäusenahen Grenzschicht auf die Schaufelspitze erfolgen kann.

[0015] Besonders vorteilhaft ist es, die Höhe sowie die Breite der Dichtkante in Abhängigkeit von einem Schaufelspitzenspalt zu bemessen. Die radiale Höhe kann dabei zwischen der Hälfte des Schaufelspitzenspalts und dem dreifachen Schaufelspitzenspalt betragen. Hinsichtlich der Breite der Dichtkante kann diese zwischen dem dreifachen Schaufelspitzenspalt und dem sechsfachen Schaufelspitzenspalt ausgebildet sein.

[0016] Hinsichtlich der Höhe des Überhangs (Winglets) in radialer Richtung kann es besonders günstig sein, wenn diese Höhe maximal 10 % der radialen Länge des Schaufelprofils beträgt. Ein bevorzugter Wert liegt bei 5 %. Dies bedeutet, dass ca. 90 % bis 95 % des Schaufelprofils unverändert ausgebildet ist und dass lediglich die äußeren 10 bzw. 5 % der Länge des Schaufelprofils mit dem erfindungsgemäßen Überhang bzw. Winglet versehen ist.

[0017] Um die Strömungsverhältnisse weiter zu optimieren, kann es günstig sein, den Übergang vom Schaufelprofil zu dem Überhang (Winglet) abgerundet auszubilden.

[0018] Weiterhin kann es vorteilhaft sein, den Kantenbereich des Überhangs (Winglets) am radialen Ende mit einem Winkel zu versehen. Dieser Winkel ist in einer Ebene definiert, die durch einen radialen Vektor von der Dichtkante zur Triebwerksachse und einem Vektor normal zur Dichtkante aufgespannt wird. Der Winkel bildet sich dann zwischen einer Tangente an der äußeren Dichtkantenfläche und dem Radialenvektor. Dabei ist es besonders günstig, wenn die Tangente an der druckseitigen Dichtkante der Schaufel in einem Winkel zwischen 10° und 50° von der Schaufel weg gerichtet und an der saugseitigen Dichtkante in einem Winkel von 10° bis 50° bei einer Lauflänge $0,1 \leq s \leq 0,3$ zur Schaufel hin gerichtet und bei einer Lauflänge zwischen $0,4 \leq s \leq 1$ in einem Winkel zwischen 10° und 50° von der Schaufel weg gerichtet ausgebildet ist.

[0019] Die erfindungsgemäße Wingletkonstruktion hat die Eigenschaft, die Überströmung der Turbinenschaufelspitzen so zu verbessern, dass der Leckagemassenstrom über die Schaufelspitze verringert wird (Wirkungsgradverbesserung im Rotor) und gleichzeitig die Abströmung im Bereich der Rotorschaufelspitze hinsichtlich des Abströmwinkels vergleichmäßigt wird (Wirkungsgradverbesserung in den stromab liegenden Schaufelreihen). Diese Vorteile werden durch folgende strömungsmechanische Effekte erreicht:

- Durch die relative schnelle Verkleinerung des großen saugseitigen Überhangs im Bereich (b) entsteht eine konkave Schaufelspitzenform. Das führt dazu, dass der Schaufelspitzenwirbel stromab einen immer größeren Abstand zur Schaufel gewinnt.

- Als Folge wird der Schaufelspitzenwirbel von der saugseitigen Schaufelumströmung entkoppelt und interagiert nicht oder nur sehr wenig mit dem sich in diesem Bereich entwickelnden Sekundärströmungswirbel. Diese Entkopplung trägt maßgeblich zur Wirkungsgradverbesserung der Schaufelspitzenströmung durch das Winglet bei.

- Der Überhang des Winglets reduziert den treibenden Druckgradienten zwischen Druckseite und Saugseite und verringert damit den Leckagemassenstrom.

- Die Öffnung der umlaufenden Dichtkante des Winglets sorgt für eine Einstromung von relativ kalter gehäusenaher Luft in die Kavität des Winglets. Die Trajektorie dieser Zuströmung (Stromlinienkrümmung) bewirkt einen Druckgradienten in Richtung Druckseite der Schaufel. Hierdurch wird eine weitere Reduktion des Leckagemassenstromes erzielt. Weiterhin verringert die aufströmende relativ kalte Luft die Kühlungsanforderungen für das Winglet.

- Die Form (Tangentenwinkel) der umlaufenden bzw. unterbrochenen Dichtkante ist in Abhängigkeit der Profillaufänge so gestaltet, dass an gewünschten Positionen Strömungsablösungen hervorgerufen werden (z.B. Druckseite) und an anderen Positionen (z.B. Saugseite) Strömungsablösungen vermieden werden.

[0020] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Gasturbinentriebwerks gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 eine vereinfachte Draufsicht auf den Endbereich der erfindungsgemäßen Schaufel,

Fig. 3 eine Ansicht, analog Fig. 2, mit Angabe der Schnittlinien der Fig. 4 bis 6,

Fig. 4 bis 6 Teil-Schnitte gemäß den Schnittlinien in Fig. 3,

Fig. 7 eine Darstellung, ähnlich Fig. 5, mit Angabe der Definitionen zur Bemessung des Schaufelendbereichs,

Fig. 8, 9 stirnseitige Ansichten, analog den Fig. 2 und 3, zur Darstellung des erfindungsgemäßen Überhangs,

Fig. 10, 11 Dickenverteilungen des saugseitigen und

druckseitigen Überhangs bezogen auf die Lauflänge der saugseitigen bzw. druckseitigen Profillinie,

- Fig. 12 eine perspektivische stirnseitige Ansicht, analog den Fig. 2 und 3, mit Darstellung der Dichtkante,
- Fig. 13 eine Draufsicht auf die Darstellung gemäß Fig. 12 mit Strömungslinien,
- Fig. 14 eine Schnittansicht, analog den Fig. 4 bis 6, mit Darstellung des Strömungsverlaufs, und
- Fig. 15 eine Draufsicht zur Verdeutlichung des in Fig. 14 gezeigten Strömungsverlaufs.

[0021] Das Gasturbinentriebwerk 10 gemäß Fig. 1 ist ein allgemein dargestelltes Beispiel einer Turbomaschine, bei der die Erfindung Anwendung finden kann. Das Triebwerk 10 ist in herkömmlicher Weise ausgebildet und umfasst in Strömungsrichtung hintereinander einen Luft-einlass 11, einen in einem Gehäuse umlaufenden Fan 12, einen Mitteldruckkompressor 13, einen Hochdruckkompressor 14, eine Brennkammer 15, eine Hochdruck-turbine 16, eine Mitteldruckturbine 17 und eine Niederdruckturbine 18 sowie eine Abgasdüse 19, die sämtlich um eine zentrale Triebwerksachse 1 angeordnet sind.

[0022] Der Zwischendruckkompressor 13 und der Hochdruckkompressor 14 umfassen jeweils mehrere Stufen, von denen jede eine in Umfangsrichtung verlaufende Anordnung fester stationärer Leitschaufeln 20 aufweist, die allgemein als Statorschaufeln bezeichnet werden und die radial nach innen vom Triebwerksgehäuse 21 in einem ringförmigen Strömungskanal durch die Kompressoren 13, 14 vorstehen. Die Kompressoren weisen weiter eine Anordnung von Kompressorlauf-schaufeln 22 auf, die radial nach außen von einer drehbaren Trommel oder Scheibe 26 vorstehen, die mit Naben 27 der Hochdruckturbine 16 bzw. der Mitteldruckturbine 17 gekoppelt sind.

[0023] Die Turbinenabschnitte 16, 17, 18 weisen ähnliche Stufen auf, umfassend eine Anordnung von festen Leitschaufeln 23, die radial nach innen vom Gehäuse 21 in den ringförmigen Strömungskanal durch die Turbinen 16, 17, 18 vorstehen, und eine nachfolgende Anordnung von Turbinenrotorschau-feln 24, die nach außen von einer drehbaren Nabe 27 vorstehen. Die Kompressortrommel oder Kompressorscheibe 26 und die darauf angeordneten Schaufeln 22 sowie die Turbinenrotornabe 27 und die darauf angeordneten Turbinenrotorschau-feln 24 drehen sich im Betrieb um die Triebwerksachse 1.

[0024] Die Fig. 2 zeigt eine stirnseitige Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Turbinenrotorschau-fel 24. Es versteht sich, dass die stirnseitige Fläche nicht eben ist, sondern Teil eines Zylinder-mantels um die Triebwerksachse 1. Zur Vereinfachung

der Darstellung ist in den nachfolgenden Figuren die Endfläche jeweils eben ausgebildet.

[0025] Die Fig. 2 zeigt somit eine erfindungsgemäße Formgebung der Rotorschau-felspitze in der Draufsicht. Hierbei ist ein Merkmal der Erfindung die spezielle Formgebung des saugseitigen Überhangs 30. Die erfindungsgemäße Formgebung des saugseitigen Überhangs 30 ist mittels der Fig. 8 und 10 näher beschrieben. Zwei Referenzpunkte, nämlich der Staupunkt an der Schau-felvorderkante (unter 2D Anströmung) LE und der Schnittpunkt der saugseitigen Profillinie mit dem Hinterkantenkreis TE, werden zur Beschreibung des saugseitigen Wingletüberhangs benutzt. Zwischen diesen beiden Referenzpunkten ist die dimensionslose Lauflänge s entlang der saugseitigen Profillinie definiert, sodass $s(LE)=0$ und $s(TE)=1$ gilt. Entlang von s ist der Wingletüberhang $T_w(s)$ als Dickenverteilung, d.h. als senkrechter Abstand zur saugseitigen Schaufelprofilinie definiert. Dabei ist die Dickenverteilung mit der maximalen Profildicke $T_{w,max}$ der Schaufelspitze (Durchmesser des größten in das Schaufelprofil einbeschreibbaren Kreises 31) dimensionslos gemacht.

[0026] Um die aerodynamischen Effekte des saugseitigen Überhangs 30 zu nutzen, ist die Dickenverteilung in Fig. 10 besonders vorteilhaft. An den beiden Referenzpunkten LE und TE ist die Dickenverteilung nahe 0 (kein signifikanter Überhang 30 vorhanden). Ausgehend vom Punkt LE steigt der Überhang 30 entlang von s anfangs nur sehr schwach an. Ab ca. $s=0,1$ erfolgt eine rasche Zunahme der Dickenverteilung, Bereich (a), bis zum Maximum $T_{w,max}$, welches bei ca. 40% der Lauflänge $s=0,4$, bzw. etwa im Bereich des engsten Querschnitts (throat) der Schaufelpassage zwischen benachbarten Schaufeln erreicht ist. Zwischen ca. $0,5 \leq s \leq 0,7$, Bereich (b), nimmt die Dickenverteilung rapide bis auf ca. 20% $T_{w,max}$ ab und geht schließlich langsam bis $s=1$ auf 0% zurück, Bereich (c). Des Weiteren sind in Fig. 10 zwei weitere Dickenverteilungen (gestrichelte Linien gezeigt), die somit einen Bereich für die besonders vorteilhafte Gestaltung des saugseitigen Überhangs 30 eingrenzen.

[0027] In den Fig. 8 und 9 ist ein Schaufelprofil 29 als gestrichelte Linie eingezeichnet, diese Linie entspricht dem Schaufelprofil unter dem Überhang (Winglet) 30 bei 90 % der Schaufelhöhe. Die Linie 38 zeigt die Kontur des saugseitigen Überhangs (Fig. 8), während die Linie 39 die Kontur des druckseitigen Überhangs (Fig. 9) zeigt. Mit dem Bezugszeichen 31 ist der Kreis eingezeichnet, welcher im Bereich der maximalen Dicke des Querschnitts des Schaufelprofils 29 einbeschreibbar ist. Das Bezugszeichen 32 zeigt den Hinterkantenkreis.

[0028] Wie in den Fig. 2 und 3 dargestellt, ist der Rand des Überhangs 30 in Form einer Dichtkante 33 ausgebildet, welche im Wesentlichen umlaufend ausgeführt ist. Sie weist, wie nachfolgend noch beschrieben werden wird, eine Öffnung 34 auf (Fig. 12 und 13). Während in Fig. 8 der saugseitige Überhang im Einzelnen dargestellt und erläutert ist, zeigt die Fig. 9 den druckseitigen Überhang mit seiner Kontur 39.

[0029] Die Fig. 4 bis 7 zeigen jeweils Schnittansichten längs den in Fig. 3 gezeigten Schnittlinien.

[0030] Die Dickenverläufe der Überhänge an der Saugseite bzw. der Druckseite sind in den Fig. 10 und 11 dargestellt. Dabei ist der Verlauf jeweils über eine dimensionslose Lauflänge s aufgetragen, die sich vom Staupunkt an der Schaufelvorderkante LE entlang der saug- bzw. druckseitigen Profillinie bis zum Schnittpunkt der Profillinie mit dem Hinterkantenkreis TE erstreckt. Die Größe des Überhangs $T_w(s)$ ist auf den Durchmesser des maximal in das Schaufelprofil einbeschreibbaren Kreis T_{max} normiert. Es ergibt sich, an welchen Stellen jeweils die Maximalwerte besonders günstig vorgesehen sind. Die gestrichelten Linien in den Fig. 10 und 11 zeigen einen bevorzugten Bemessungsbereich, während die durchgezogene Linie eine optimierte Lösung darstellt.

[0031] Die Rotorschaufelspitze weist, wie in den Fig. gezeigt, folgende bevorzugte konstruktive Eigenschaften auf, um die Auswirkung der Rotorspitzenpaltleckageströmung auf den Turbinenwirkungsgrad so klein wie möglich zu gestalten:

- Einen relativ kleinen, aber signifikanten druckseitigen Überhang $T_w(s)$, der, wie in Fig. 9 und 11 gezeigt, zwischen $0 \leq s \leq 0,2$ sehr klein ist, von $s=0,2$ bis $s=0,6$ bis auf sein Maximum von $15\% T_{max}$ anwächst und schließlich von $s=0,6$ bis zur Schaufelhinterkante abfällt, sodass der druckseitige Überhang bei $s=1$ tangential an den Hinterkantenkreis übergeht. Eine günstige Gestaltung des druckseitigen Überhangs kann mittels der gestrichelten Kurven in Fig. 11 eingegrenzt werden.
- Eine Öffnung, zumindest aber eine Verringerung der Höhe d der umlaufenden Dichtkante im vorderen Bereich des saugseitigen Überhangs zwischen ca. $s=0,1$ und $s=0,3$, wie in Fig. 12 und 13 gezeigt.
- Eine mittels des Rotorschaufelspitzenspaltes (nominal im Normalbetrieb) t definierte Höhe d der umlaufenden bzw. unterbrochenen Dichtkante auf dem Winglet von ca. $0,5t \leq d \leq 3t$ (siehe Fig. 7).
- Eine mittels des Rotorschaufelspitzenspaltes t definierte Breite b der umlaufenden bzw. unterbrochenen Dichtkante auf dem Winglet von ca. $3t \leq b \leq 6t$ (siehe Fig. 7).
- Eine Höhe h des Winglets von nicht mehr als 10 % der mittleren Höhe des Rotorschaufelprofils. In besonders günstiger Ausführung sollte $h \sim 5\%$ der mittleren Höhe des Rotorschaufelprofils betragen (siehe Fig. 7). Dabei ist h als der radiale Abstand der Wingletspitze von dem radialen Schaufelprofilschnitt anzusehen, bei dem die Aufweitung des Schaufelprofils in das Winglet deutlich beginnt.
- Einen stetigen, mit angemessenen Radien R (bzw.

geeigneten Kurvenformen) abgerundeten, sanften Übergang zwischen dem Wingletüberhang und dem Schaufelprofil (siehe Fig. 7).

- Einen von der Profillaufänge s abhängigen, beispielhaft mittels der Schaufelschnitte A:A, B:B und C:C in Fig. 7 definierten Winkel β zwischen der Tangente an der äußeren Dichtkante 35 und dem Radialenvektor 36, sodass die Tangente an der Druckseite stets von der Schaufel mit einem Winkel zwischen $10^\circ \leq \beta_{DS} \leq 50^\circ$ weg zeigt und die Tangente an der Saugseite zwischen $0,1 \leq s \leq 0,3$ zu der Schaufel mit einem Winkel zwischen $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$ hin zeigt, jedoch zwischen $0,4 \leq s \leq 1$ stets mit einem Winkel von $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$ von der Schaufel weg zeigt.

[0032] Zur Verdeutlichung der obenstehenden Ausführungen zeigen somit die Fig. 4 bis 6 jeweils Schnittansichten gemäß Fig. 3, aus welchen sich die bevorzugten Ausgestaltungen ergeben. Insbesondere zeigen die Fig. 4 bis 6 die jeweiligen Winkel β zwischen der Tangente 35 und dem Radialenvektor 36. Die Fig. 7 verdeutlicht nochmals die Dimensionsdefinitionen und stellt zusätzlich schematisch das Gehäuse 40 sowie den Schaufelspitzenspalt 37 dar.

[0033] Aus den Fig. 12 bis 15 ergibt sich nochmals eine Darstellung der Strömungsverhältnisse. Die Fig. 13 zeigt dabei insbesondere eine Einströmung durch die Öffnung 34 sowie eine Strömung durch den Schaufelspitzenspalt 37. Entsprechend zeigen die Fig. 14 und 15 zur Verdeutlichung ein Beispiel eines sich ausbildenden Schaufelspitzenspaltwirbels 41 sowie eines Sekundärströmungswirbels 42.

Bezugszeichenliste:

[0034]

1	Triebwerksachse
10	Gasturbinentriebwerk / Kerntriebwerk
11	Luftreinlass
12	Fan
13	Mitteldruckkompressor (Verdichter)
14	Hochdruckkompressor
15	Brennkammern
16	Hochdruckturbine
17	Mitteldruckturbine
18	Niederdruckturbine
19	Abgasdüse
20	Leitschaufeln
21	Triebwerksgehäuse
22	Kompressorlaufschaufeln
23	Leitschaufeln
24	Turbinenrotorschaukeln
26	Kompressorstrommel oder -scheibe
27	Turbinenrotornabe
28	Auslasskonus
29	Schaukelprofil (unter dem Winglet bei ca. 90%

	Schaufelhöhe)		einer Lauflänge (s) von 20 % bis 60 % der Lauflänge (s) des druckseitigen Überhangs (30) aufweist.
30	Überhang / Winglet		
31	Kreis (mit maximalem in das Schaufelprofil einbeschreibbaren Durchmesser)		
32	Hinterkantenkreis	5	3. Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass am radial äußeren Randbereich der Schaukel (24) eine umlaufende Dichtkante (33) ausgebildet ist.
33	Dichtkante		
34	Öffnung der Dichtkante		
35	Tangente an der Dichtkante		
36	Radialenvektor an der Dichtkante		
37	Schaukelspitzenspalt	10	4. Turbinenrotorschaukel nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtkante (33) im Bereich des saugseitigen Überhangs (30) zwischen einer Lauflänge (s) von 10 % und 30 % eine verringerte oder auf einen Wert von Null reduzierte Höhe (d) aufweist.
38	Kontur des saugseitigen Überhangs		
39	Kontur des druckseitigen Überhangs		
40	Gehäuseendwand des Turbinenrotors		
41	Schaukelspitzenspaltwirbel		
42	Sekundärströmungswirbel	15	5. Turbinenrotorschaukel nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die verringerte Höhe (d) der Dichtkante (33) eine Öffnung (34) ausbildet, welche sich zwischen 10 % und 30 % der Lauflänge (s) der Dichtkante (33) erstreckt.
DS	Druckseite		
SS	Saugseite		
LE	Staupunkt an der Schaukelvorderkante		
TE	Schnittpunkt der saug- bzw. druckseitigen Profillinie mit dem Hinterkantenkreis	20	
b	Breite der Dichtkante		
d	Höhe der Dichtkante		6. Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtkante (33) eine radiale Höhe (d) von $0,5t \leq d \leq 3t$ aufweist, wobei t der im Betrieb vorgesehene Schaukelspitzenspalt (37) ist und/oder dass die Dichtkante (33) eine Breite (b) von $3t \leq b \leq 6t$ aufweist.
h	Höhe des Überhangs (Winglet)		
R	Verrundungsradien zwischen Überhang (Winglet) und Schaukelprofil	25	
s	Lauflänge		
t	Höhe des Schaukelspitzenspaltes		
T_{max}	maximale Schaukelprofildicke		
T_w	Überhang (Winglet) -Größe		7. Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (h) des Überhangs (30) maximal 10 %, bevorzugt 5 % der radialen Länge des Schaukelprofils (29) beträgt.
$T_{w,max}$	maximale Überhang (Winglet) -Größe	30	

Patentansprüche

1. Turbinenrotorschaukel einer Gasturbine mit einer Schaukelspitze, wobei die Schaukelspitze zumindest an ihrer Saugseite (SS), ausgehend von einem Staupunkt (LE) an der Schaukelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt (TE_{SS}) der saugseitigen Profillinie der Schaukel (24) mit einem Hinterkantenkreis (32) einen Überhang (30) aufweist, welcher an der Schaukelvorderkante und an der Schaukelhinterkante im Wesentlichen Null beträgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Überhang (30) seinen Maximalwert ($T_{w,max}$) im wesentlichen bei einer Lauflänge von $s=0,4$ erreicht und zwischen einer Lauflänge von $0,5 \leq s \leq 0,7$ einen Rückgang des Überhangs von im Wesentlichen $0,8 T_{w,max}$ auf $0,2 T_{w,max}$ aufweist.
2. Turbinenrotorschaukel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaukelspitze an ihrer Druckseite (DS), ausgehend von einem Staupunkt (LE) an der Schaukelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt (TE_{DS}) der druckseitigen Profillinie der Schaukel (24) mit einem Hinterkantenkreis (32) einen Überhang (30) aufweist, welcher am Staupunkt (LE) und am Schnittpunkt (TE_{DS}) im Wesentlichen Null beträgt und welcher einen Maximalwert bei etwa
3. Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** am radial äußeren Randbereich der Schaukel (24) eine umlaufende Dichtkante (33) ausgebildet ist.
4. Turbinenrotorschaukel nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dichtkante (33) im Bereich des saugseitigen Überhangs (30) zwischen einer Lauflänge (s) von 10 % und 30 % eine verringerte oder auf einen Wert von Null reduzierte Höhe (d) aufweist.
5. Turbinenrotorschaukel nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die verringerte Höhe (d) der Dichtkante (33) eine Öffnung (34) ausbildet, welche sich zwischen 10 % und 30 % der Lauflänge (s) der Dichtkante (33) erstreckt.
6. Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dichtkante (33) eine radiale Höhe (d) von $0,5t \leq d \leq 3t$ aufweist, wobei t der im Betrieb vorgesehene Schaukelspitzenspalt (37) ist und/oder dass die Dichtkante (33) eine Breite (b) von $3t \leq b \leq 6t$ aufweist.
7. Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe (h) des Überhangs (30) maximal 10 %, bevorzugt 5 % der radialen Länge des Schaukelprofils (29) beträgt.
8. Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Überhang vom Schaukelprofil (29) zu dem Überhang (30) abgerundet ausgebildet ist.
9. Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Winkel (β) zwischen einer Tangente (35) an der äußeren Kante des Überhangs (30) und einem in Radialrichtung, bezogen auf eine Triebwerksachse (1) verlaufenden Vektors (36) so ausgebildet ist, dass die Tangente (35) an der Druckseite (DS) von der Schaukel (24) in einem Winkel (β_{DS}) von $10^\circ \leq \beta_{DS} \leq 50^\circ$ weg gerichtet und an der Saugseite (SS) zwischen $0,1 \leq s \leq 0,3$ mit einem Winkel (β_{SS}) von $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$ zu der Schaukel (24) hin gerichtet und zwischen $0,4 \leq s \leq 1$ mit einem Winkel von $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$ von der Schaukel (24) weg gerichtet ausgebildet ist.
10. Anordnung mit wenigstens einer Turbinenrotorschaukel nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Maximalwert des saugseitigen Überhangs (30) im Wesentlichen im Bereich eines engsten Querschnitts einer Schaukel-passage ausgebildet ist.

Claims

1. Turbine rotor blade of a gas turbine, having a blade tip, wherein the blade tip has, at least on its suction side (SS), an overhang (30) proceeding from a stagnation point (LE) at the blade front edge as far as a point of intersection (TE_{SS}) of the suction-side profile line of the blade (24) with a rear-edge circle (32), which overhang substantially amounts to zero at the blade front edge and at the blade rear edge, **characterized in that** the overhang (30) attains its maximum value ($T_{w,max}$) substantially at a path length $s=0.4$ and has a reduction in the overhang from substantially $0.8T_{w,max}$ to $0.2T_{w,max}$ over a path length range of $0.5 \leq s \leq 0.7$.
2. Turbine rotor blade according to Claim 1, **characterized in that** the blade tip has, on its pressure side (DS), an overhang (30) proceeding from a stagnation point (LE) at the blade front edge as far as a point of intersection (TE_{DS}) of the pressure-side profile line of the blade (24) with a rear-edge circle (32), which overhang substantially amounts to zero at the stagnation point (LE) and at the point of intersection (TE_{DS}) and has a maximum value approximately at a path length (s) of 20% to 60% of the path length (s) of the pressure-side overhang (30).
3. Turbine rotor blade according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** a peripheral sealing edge (33) is formed on the radially outer boundary region of the blade (24).
4. Turbine rotor blade according to Claim 3, **characterized in that**, in the region of the suction-side overhang (30), the sealing edge (33) has, between a path length (s) of 10% and of 30%, a height (d) which is reduced or is reduced to a value of zero.
5. Turbine rotor blade according to Claim 4, **characterized in that** an opening (34) is formed by the reduced height (d) of the sealing edge (33) and extends between 10% and 30% of the path length (s) of the sealing edge (33).
6. Turbine rotor blade according to one of Claims 3 to 5, **characterized in that** the sealing edge (33) has a radial height (d) with $0.5t \leq d \leq 3t$, where t is the blade tip gap (37) provided during operation, and/or **in that** the sealing edge (33) has a width (b) with $3t \leq b \leq 6t$.
7. Turbine rotor blade according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the height (h) of the overhang (30) is at most 10%, preferably 5%, of the radial length of the blade profile (29).
8. Turbine rotor blade according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the transition from the blade

profile (29) to the overhang (30) is of rounded form.

9. Turbine rotor blade according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** an angle (β) between a tangent (35) to the outer edge of the overhang (30) and a vector (36) extending in a radial direction with respect to an engine axis (1) is formed such that the tangent (35), on the pressure side (DS), is formed so as to be directed away from the blade (24) at an angle (β_{DS}) with $10^\circ \leq \beta_{DS} \leq 50^\circ$, and on the suction side (SS), is formed so as to be directed towards the blade (24) at an angle (β_{SS}) with $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$ over a range $0.1 \leq s \leq 0.3$ and so as to be directed away from the blade (24) at an angle with $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$ over a range $0.4 \leq s \leq 1$.
10. Arrangement having at least one turbine rotor blade according to one of Claims 1 to 9, **characterized in that** the maximum value of the suction-side overhang (30) is formed substantially in the region of a narrowest cross section of a blade passage.

Revendications

1. Aube de rotor de turbine d'une turbine à gaz comprenant une pointe d'aube, la pointe d'aube présentant au moins au niveau de son côté aspiration (SS), à partir d'un point mort (LE) au niveau de l'arête avant de l'aube jusqu'à un point d'intersection (TE_{SS}) de la ligne de profilé de l'aube (24) du côté aspiration avec un cercle d'arête arrière (32), un surplomb (30) qui est essentiellement nul au niveau de l'arête avant de l'aube et au niveau de l'arête arrière de l'aube, **caractérisée en ce que** le surplomb (30) atteint sa valeur maximale ($T_{w,max}$) essentiellement pour une longueur de travail de $s=0,4$ et présente un recul du surplomb d'essentiellement $0,8 T_{w,max}$ à $0,2 T_{w,max}$ entre une longueur de travail de $0,5 \leq s \leq 0,7$.
2. Aube de rotor de turbine selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la pointe d'aube présente, au niveau de son côté pression (DS), à partir d'un point mort (LE) au niveau de l'arête avant de l'aube jusqu'à un point d'intersection (TE_{DS}) de la ligne de profilé de l'aube (24) du côté pression avec un cercle d'arête arrière (32), un surplomb (30) qui est essentiellement nul au niveau du point mort (LE) et au niveau du point d'intersection (TE_{DS}) et qui présente une valeur maximale pour une longueur de travail (s) d'environ 20 % à 60 % de la longueur de travail (s) du surplomb (30) côté pression.
3. Aube de rotor de turbine selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisée en ce qu'une** arête d'étanchéité périphérique (33) est réalisée au niveau de la région de bord radialement extérieure de l'aube (24).

4. Aube de rotor de turbine selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** l'arête d'étanchéité (33) dans la région du surplomb (30) du côté aspiration présente, entre une longueur de travail (s) de 10 % et de 30 %, une hauteur (d) réduite ou réduite à zéro. 5

5. Aube de rotor de turbine selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** la hauteur réduite (d) de l'arête d'étanchéité (33) forme une ouverture (34) qui s'étend entre 10 % et 30 % de la longueur de travail (s) de l'arête d'étanchéité (33). 10

6. Aube de rotor de turbine selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, **caractérisée en ce que** l'arête d'étanchéité (33) présente une hauteur radiale (d) de $0,5t \leq d \leq 3t$, t étant l'interstice de pointe d'aube (37) prévu pendant le fonctionnement et/ou **en ce que** l'arête d'étanchéité (33) présente une largeur (b) de $3t \leq b \leq 6t$. 15
20

7. Aube de rotor de turbine selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** la hauteur (h) du surplomb (30) vaut au maximum 10 %, de préférence 5 % de la longueur radiale du profil d'aube (29). 25

8. Aube de rotor de turbine selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce que** le surplomb est réalisé sous forme arrondie depuis le profil d'aube (29) jusqu'au surplomb (30). 30

9. Aube de rotor de turbine selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce qu'un** angle (β) entre une tangente (35) à l'arête extérieure du surplomb (30) et un vecteur (36) s'étendant dans la direction radiale par rapport à un axe du groupe motopropulseur (1) est réalisé de telle sorte que la tangente (35) au niveau du côté pression (DS) soit orientée à l'écart de l'aube (24) suivant un angle (β_{DS}) de $10^\circ \leq \beta_{DS} \leq 50^\circ$ et au niveau du côté aspiration (SS), entre $0,1 \leq s \leq 0,3$, soit orientée vers l'aube (24) avec un angle (β_{SS}) de $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$ et entre $0,4 \leq s \leq 1$, soit orientée à l'écart de l'aube (24) avec un angle (β_{SS}) de $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$. 35
40
45

10. Agencement comprenant au moins une aube de rotor de turbine selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** la valeur maximale du surplomb (30) côté aspiration est essentiellement dans la région d'une section transversale la plus étroite d'un passage d'aube. 50

55

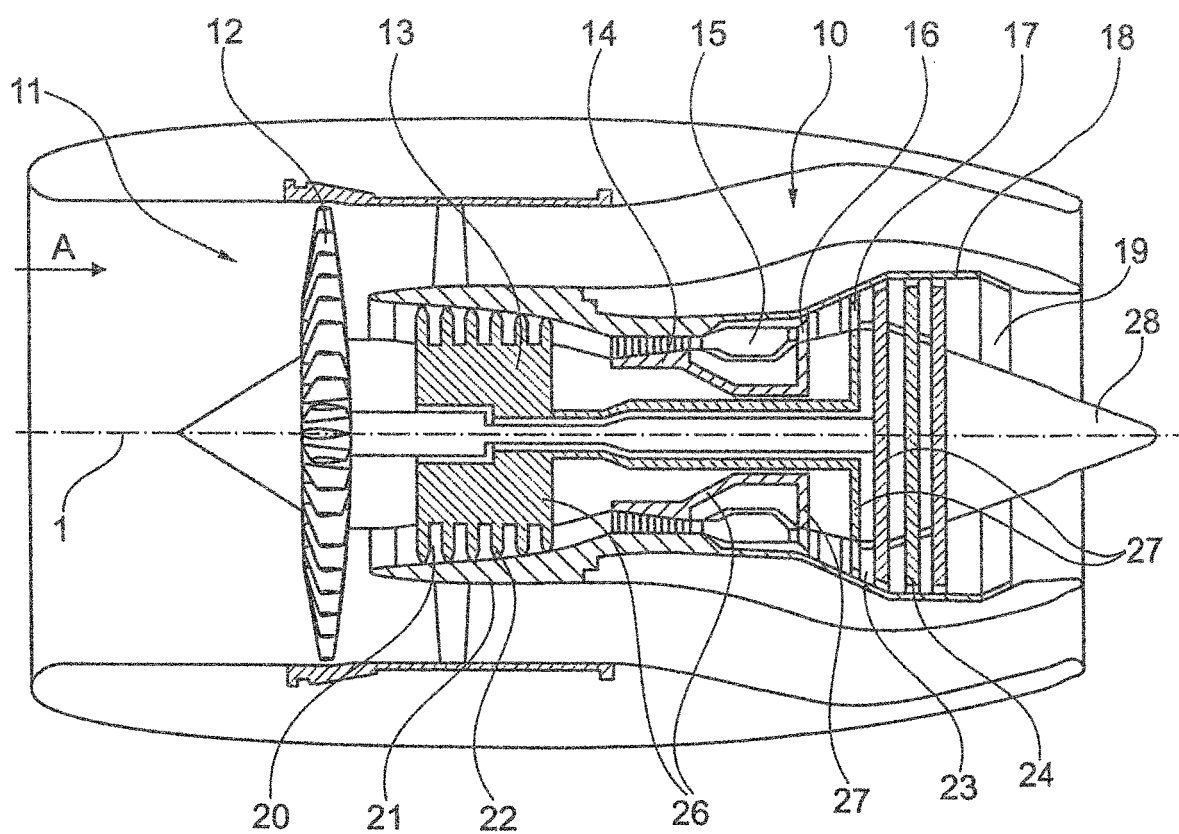


Fig. 1

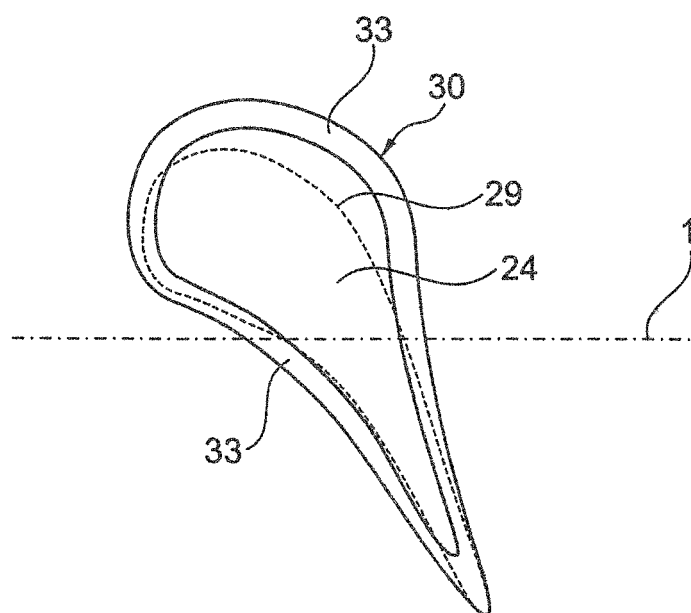


Fig. 2

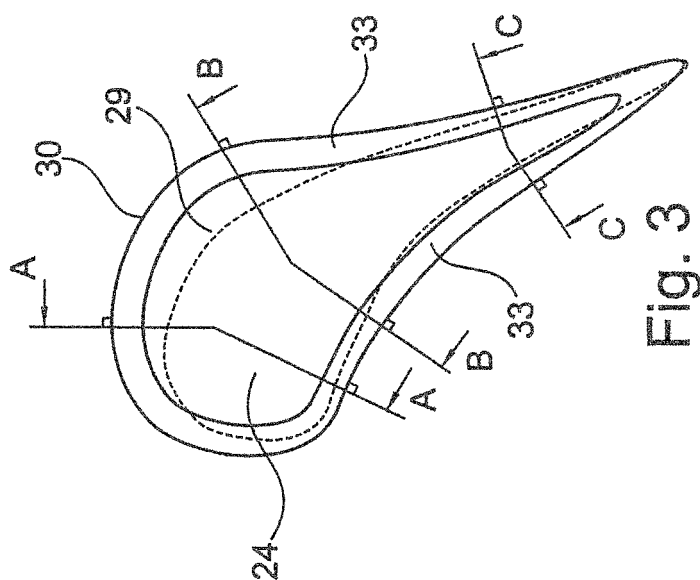
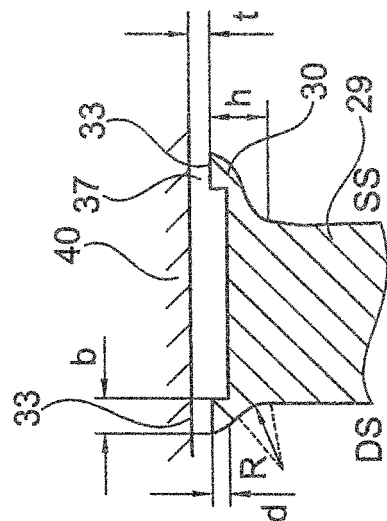
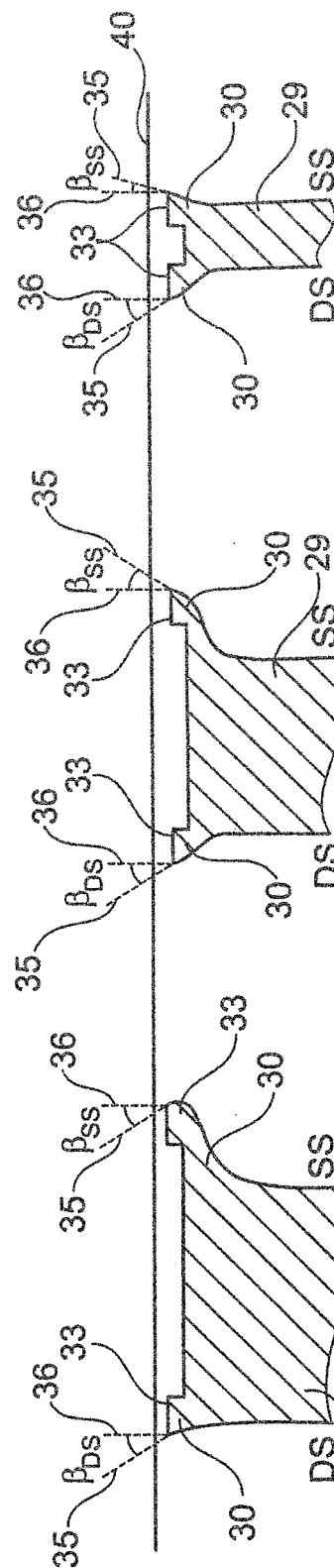


Fig. 3



Schnitt B:B

Fig. 7



Schnitt A:A

Fig. 4

Schnitt B:B

Fig. 5

Schnitt C:C

Fig. 6

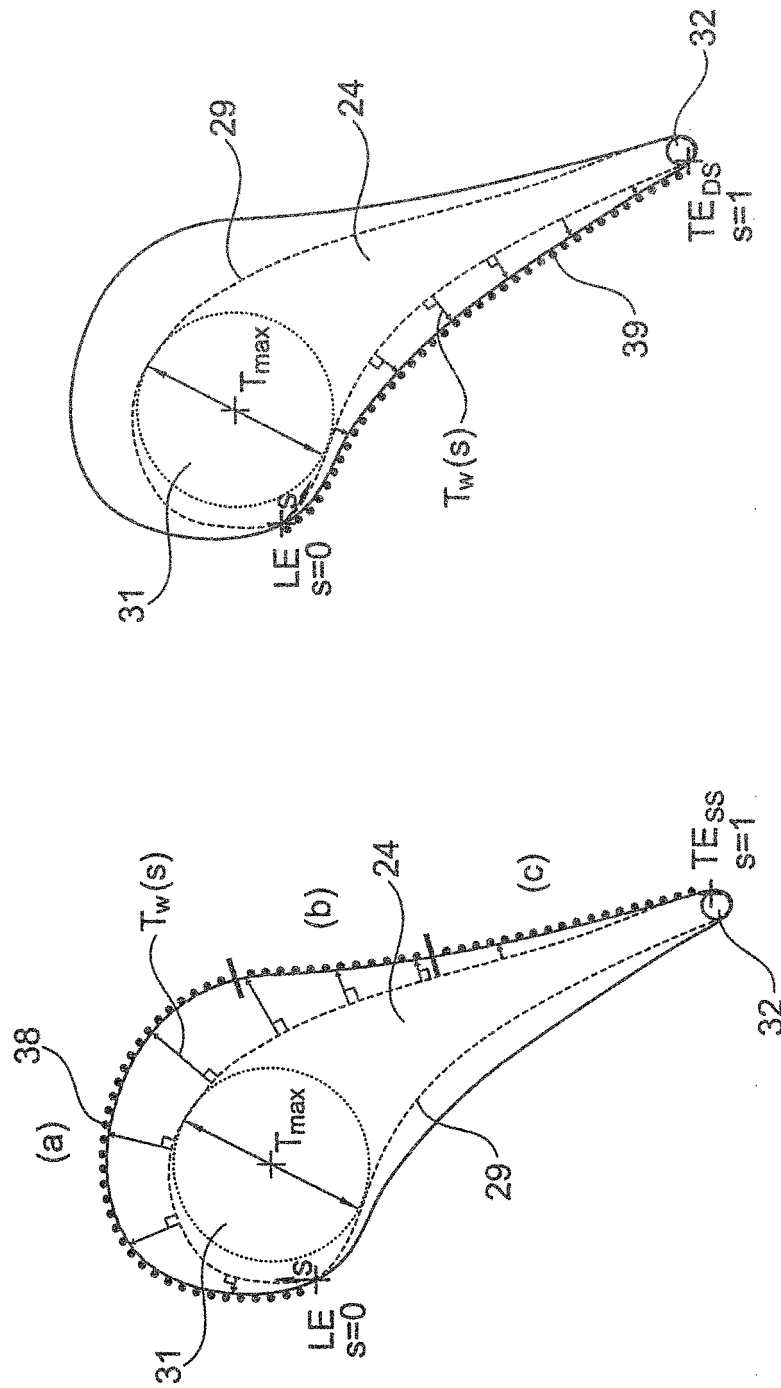


Fig. 9

Fig. 8

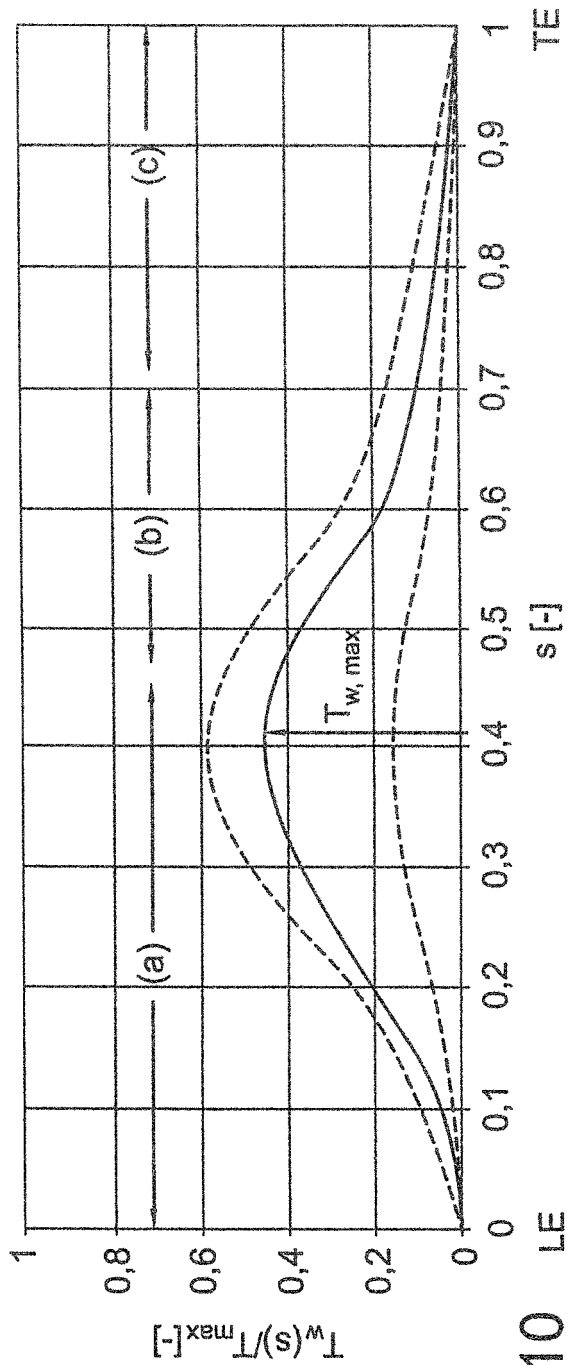


Fig. 10

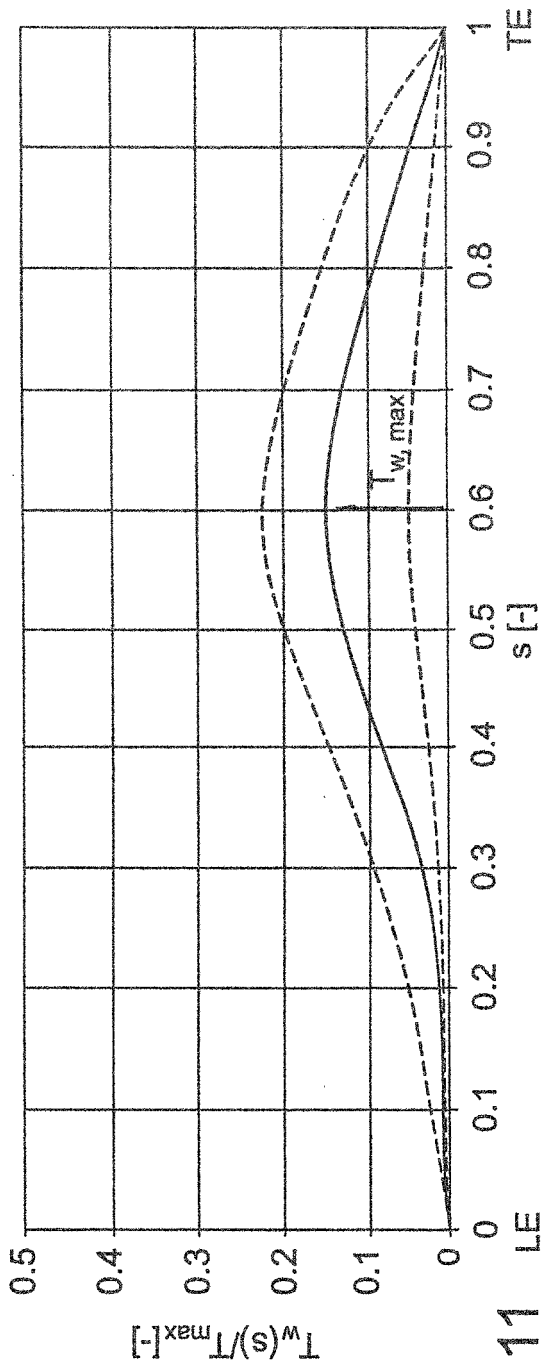


Fig. 11

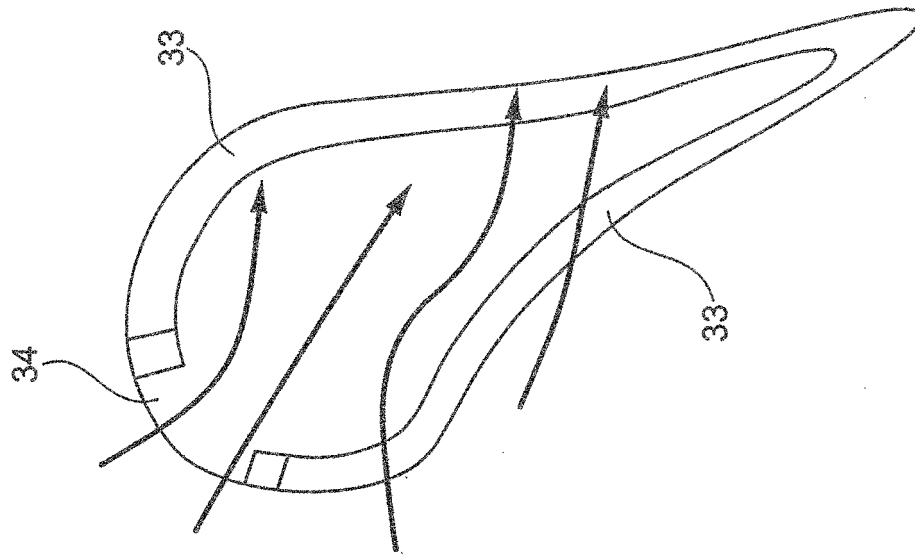


Fig. 13

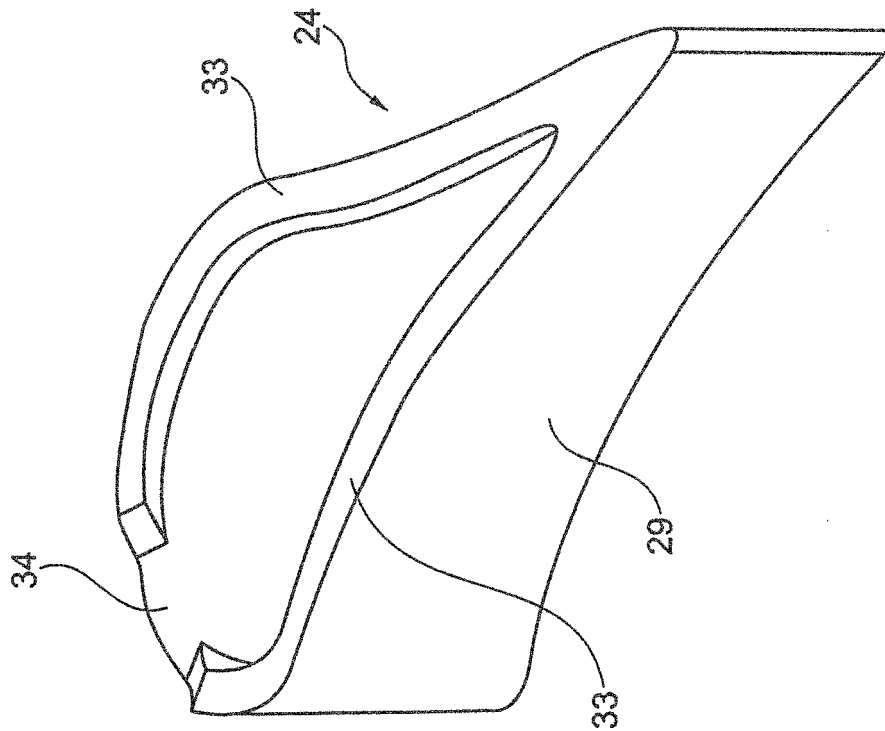


Fig. 12

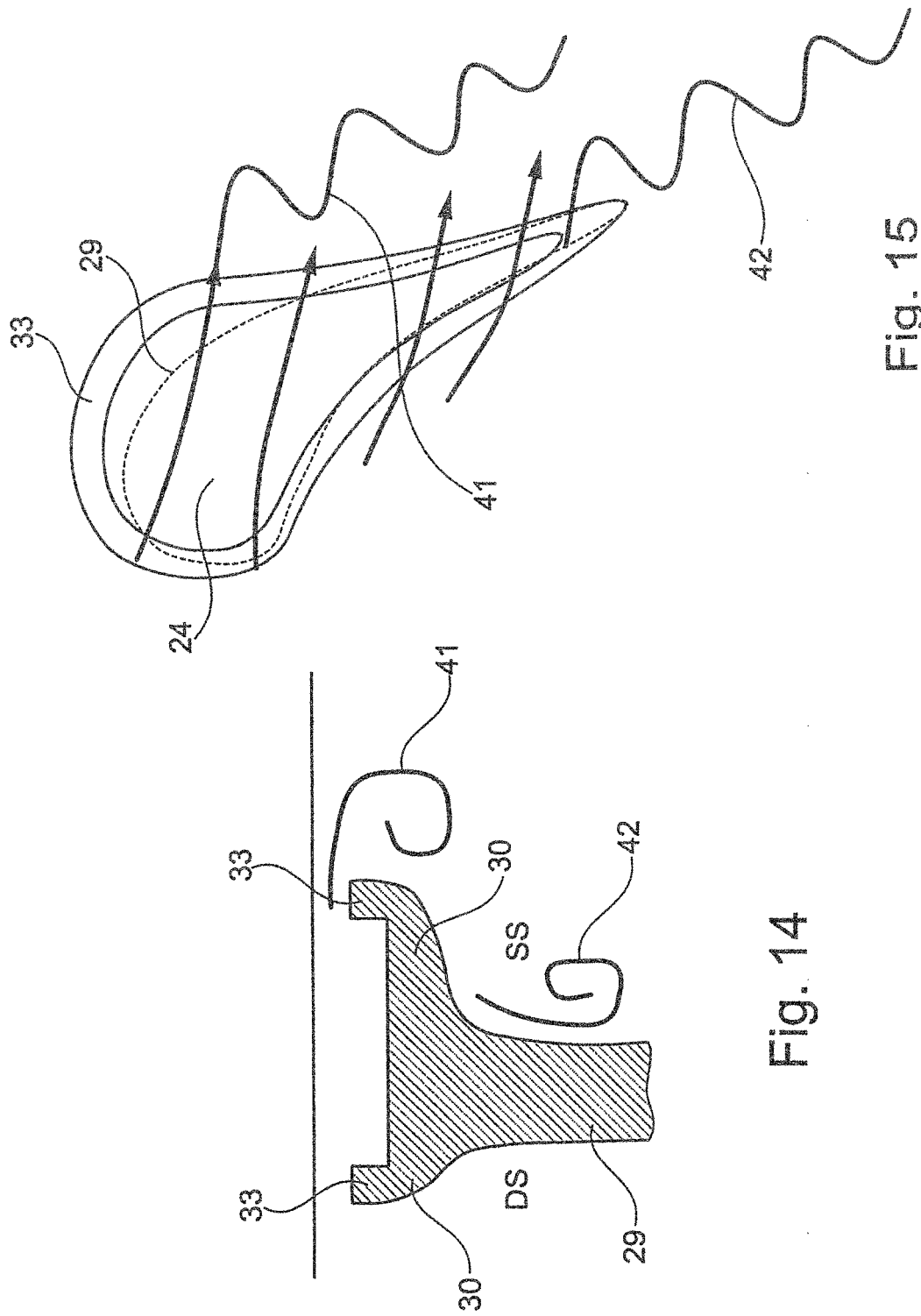


Fig. 15

Fig. 14

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20100098554 A1 [0004]
- US 7118329 B2 [0004]
- US 6142739 A [0004]
- GB 1491556 A [0006]
- EP 1898052 A2 [0007]